



**Europäisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

03405255.5

Der Präsident des Europäischen Patentamts:
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Anmeldung Nr:
Application no.: 03405255.5
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 14.04.03
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

HILTI Aktiengesellschaft
Feldkircherstrasse 100,
Postfach 333
9494 Schaan
LIECHTENSTEIN

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

Verfahren und Einrichtung zur automatischen Bestimmung des Durchmessers eines von
einem Motor angetriebenen rundscheibenartigen Werkzeugs

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

B25D17/00

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL
PT RO SE SI SK TR LI

THIS PAGE BLANK (USPTO)

1 **Verfahren und Einrichtung zur automatischen Bestimmung
des Durchmessers eines von einem Motor angetriebenen
rundscheibenartigen Werkzeugs**

5 **BESCHREIBUNG:**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur automatischen Bestimmung des Durchmessers eines von einem Motor angetriebenen rundscheibenartigen Werkzeugs, insbesondere eines Sägeblatts für eine automatische Wandsäge.

10

Die Erfindung bezieht sich außerdem auf eine automatische Wandsäge, bei der die Einstellung optimaler Schnittparameter, insbesondere der Schnittlänge und Schnitttiefe, unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt.

15

Eine automatische Wandsäge ist in der Regel als Roboter mit zwei Freiheitsgraden realisiert. Diese Freiheitsgrade sind der Vorschub x der Antriebseinheit auf einem Schlitten und der Schwenkwinkel ϕ eines beispielsweise an einem Motor oder Getriebegehäuse angelenkten Schwenkarms, an dessen freiem Ende das Sägeblatt drehbar gelagert ist. Für einen automatischen Sägeprozess bei Wandsägen ist es notwendig, den Sägeblattdurchmesser zu kennen, weil unter anderem die Schnitttiefe t und die Schnittlänge davon abhängen. Zudem ist bei Kenntnis des Sägeblattdurchmessers die Einstellung einer optimalen Schnittgeschwindigkeit möglich. Letzteres gilt im Prinzip auch für kleinere Elektrowerkzeuge wie Kreissägen, Trennschleifer und dergleichen.

25

Es ist bei Elektrowerkzeugen bekannt, die auswechselbaren Werkzeuge mit einer Kodierung zu versehen, die Informationen über spezifische Merkmale des Werkzeugs enthält. Dieser Kodierung ist eine Ableseeinrichtung bzw. ein Sensor zugeordnet ist, so dass aufgrund der werkzeugspezifischen Information auswählbare Betriebsparameter der Antriebseinheit für das betreffende Werkzeug optimiert werden können. Es sind dafür unterschiedliche Dualitäten von Kodierung und Ableseung bekannt, nämlich mechanische, optische, magnetische, induktive oder solche mittels Transponder.

30

35

So beschreibt die DE 37 20 512 A1 ein Handgerät mit einer lösbar mit einer Antriebswelle verbundenen Aufnahme für Werkzeuge, deren Einsteckende nutenförmige Ausnehmungen aufweist, die in radial verschiebbare Verriegelungselemente in der Werkzeugaufnahme eingreifen. Die Verriegelungselemente werden durch eine

1 verdrehbar die Werkzeugaufnahme umschließende Betätigungshülse in Eingriff mit
dem Werkzeug gehalten. Um die Verriegelung zu lösen, wird die Betätigungshülse
soweit verdreht, dass die Verriegelungselemente radial auswärts in Vertiefungen in
5 der Betätigungshülse eintauchen und dadurch außer Eingriff mit dem Werkzeug
gelangen. In definierter Drehlage zu den Verriegelungselementen sind in der Werk-
zeugaufnahme radial bewegliche Steuerelemente angeordnet, denen am Ein-
steckende des Werkzeugs Längsnuten zugeordnet sind, so dass die Steuerelemente
unter Federwirkung in radialer Richtung in diese Längsnuten eindringen können.
10 Den Steuerelementen sind Schwenkhebel zugeordnet, die die radiale Lage des Steu-
erelements abgreifen und deren eines Ende einen dementsprechend veränderlichen
radialen Abstand von einem feststehend im Gerätegehäuse positionierten Sensor
einnimmt, an dem sich bei einer Drehung der Werkzeugaufnahme diese Enden der
Schwenkhebel vorbeibewegen und dadurch den Sensor induktiv beeinflussen. Die
15 Hebelenden können unterschiedlich große, die Sensoren beeinflussende Wirk-
flächen aufweisen. Entsprechend den im Sensor erzeugten Schaltsignalen werden
dem jeweils eingesetzten Werkzeug angepasste Betriebsparameter des Geräts, z. B.
bei einem Bohrhammer die Drehzahl und die Schlagzahl, eingestellt.

Gegenstand der DE 37 21 771 A1 ist ein Handgerät, das ebenfalls eine lösbar mit
20 einer Antriebswelle verbundene Aufnahme für Werkzeuge aufweist. Deren Ein-
steckende ist mit einem angepassten Aufnahmekörper für das betreffende Werk-
zeug versehen, dessen Arbeitsdurchmesser stark variieren kann, weshalb sich für
die Einsteckenden der genannten Art zwei unterschiedliche Durchmesser durchge-
setzt haben. Um alle diese Werkzeuge mit einem Handgerät verwenden zu können,
25 lassen sich wahlweise zwei diesen unterschiedlichen Durchmessern angepasste
Werkzeugaufnahmen gegeneinander austauschen und drehfest mit der Antriebs-
welle verbinden. Die in die Ausnehmungen der Werkzeuge eingreifenden Verriege-
lungselemente sind durch eine relativ zum Aufnahmekörper verdreh- oder ver-
schiebbare Verriegelungshülse radial verschiebbar. In weiteren Durchbrüchen des
30 Aufnahmekörpers sind gegen die Verriegelungshülse radial verschiebbare Steuere-
lemente angeordnet, die in einer ersten radialen Position, in welcher sie in am
Werkzeug ausgebildete Ausnehmungen eintauchen, ein Verdrehen oder Verschie-
ben der Verriegelungshülse zulassen, während sie in einer zweiten radialen Position
eine solche Bewegung der Verriegelungshülse sperren. Damit ein Werkzeug in die
35 Aufnahme eingesetzt werden kann, müssen die Verriegelungselemente und die
Steuerelemente aus dem für die Aufnahme des jeweiligen Einsteckendes der Werk-
zeuge bestimmten Querschnitt entfernt werden, wodurch die Verriegelungshülse
entgegen einer Rückstellkraft soweit bewegt wird, dass die Verriegelungselemente

1 und die Steuerelemente radial auswärts in einen erweiterten Bereich der Verriegelungshülse einrasten können. Ist das Werkzeug vollständig in die Werkzeugaufnahme eingesetzt, wird die Verriegelungshülse freigegeben und bewegt sich unter der Wirkung der Rückstellkraft in Richtung auf ihre Ruhestellung.

5

Wegen der großen Variationsbreite der Arbeitsdurchmesser der mit einer solchen Werkzeugaufnahme verwendbaren Werkzeuge ist es erwünscht, das Gerät auf die dem Werkzeug jeweils zumutbaren Leistungen abzustimmen. Zu diesem Zweck sind die Verriegelungshülse und das Gerätegehäuse miteinander zugeordneten Sensorelementen versehen, die zusammenwirken, sobald sich die Verriegelungshülse in ihrer Ruhestellung befindet, um das Gerät auf die dem Werkzeug angemessene Leistung einzustellen. Eine werkzeugbezogene Leistungseinstellung am Gerät unterbleibt, wenn Werkzeuge in die Werkzeugaufnahme eingesetzt werden, die diese den Steuerelementen zugeordnete Ausnehmungen nicht aufweisen. Dann wird das Gerät mit einer standardisierten Betriebsdateneinstellung betrieben. Um differenzierte Einstellungen zu ermöglichen, können auch eine Mehrzahl von Sensoren in Verbindung mit mehreren Steuerelementen am Aufnahmekörper und mehreren diesen zugeordneten Ausnehmungen im Werkzeug vorgesehen sein. Der technische Aufwand für diese werkzeugbezogene Einstellung des Geräts ist also beträchtlich.

20

Die DE 36 37 128 A1 beschreibt eine automatische, werkzeugspezifische Betriebsdateneinstellung eines elektrischen Antriebsgeräts für auswechselbare Werkzeuge, bei welcher am Werkzeugschaft über dessen Umfang verteilt angebrachte, werkzeugspezifische Datenmarkierungen angebracht sind, die mit einer Lesevorrichtung zusammenwirken, die relativ zum Gerätegehäuse feststehend in die Werkzeugaufnahme des Antriebsgeräts eingebaut ist, so dass die Lesevorrichtung bei einer Relativbewegung zwischen Werkzeug und Arbeitsgerät ein elektrisches Signal erzeugt, das durch eine elektronische Auswerteeinrichtung das Antriebsgerät auf dem Werkzeug entsprechende Betriebsparameter einstellt. Die Datenmarkierungen können aus einer Folge von kerbenartigen Vertiefungen bestehen, die über den Umfang des Schaftes verteilt sind und durch auf Schaftdurchmesser stehengebliebene Stege getrennt sind, so dass sich wenigstens eine Datenspur bestehend aus einer Folge von zueinander gehörigen Vertiefungen und Stegen ergibt, der beispielsweise in der Lesevorrichtung ein induktiver Sensor oder ein optischer Sensor zugeordnet ist.

35

Eine Werkzeugmaschine nach der DE 196 29 623 A1 besitzt eine Werkzeugspindel, mit einer Aufnahme für ein Drehwerkzeug. Ein mehrstufiges Schaltgetriebe überträgt die Rotation einer Antriebswelle in einem durch die jeweils wirksame Getriebe-

1 stufe bestimmten Drehzahlverhältnis auf die Werkzeugspindel. Das Drehwerkzeug
ist mit einer mechanisch abtastbaren, eine gewünschte Arbeitsdrehzahl der Werk-
zeugspindel anzeigenden Kodierung versehen, durch eine Schaltmechanik des
5 Schaltgetriebes, etwa einen axial zur Werkzeugspindel geführten Taststößel, abge-
tastet werden, so dass für den Bediener der Maschine keine Notwendigkeit besteht,
sich jeweils über die gewünschte Drehzahl zu informieren und die Maschine ent-
sprechend einzustellen.

10 Gemäß der DE 43 12 162 ist ein Elektrowerkzeug, insbesondere zum Sägen, Schlei-
fen und Bohren, mit einem stationären Sensor ausgestattet, an dem sich das ange-
triebene Werkzeug, z. B. ein Sägeblatt, vorbeibewegt, so dass eine dem Sensor zu-
geordnete Markierung auf dem angetriebenen Werkzeug abgetastet werden kann
und auf dieses Werkzeug bezogene Daten liefert, die von einer Steuerung während
15 des Arbeitens mit dem Elektrowerkzeug verarbeitet werden, um die jeweils opti-
malen Betriebsparameter, insbesondere die Drehzahl, einzustellen. Die Markierun-
gen können beispielsweise aus einer Folge von Erhöhungen, Vertiefungen, Durch-
brechungen oder farblich kontrastierenden Kennzeichnungen auf der Werk-
zeugoberfläche bestehen. Die Abtastung durch den Sensor kann optisch, magne-
tisch, induktiv oder kapazitiv erfolgen.

20 Ein Beispiel für die Anwendung eines Transponders findet sich in der DE 35 41
676 A1. Allgemein zur Kennzeichnung und Identifizierung von Gegenständen, ins-
besondere aber von in Fertigungsprozessen benötigten Arbeitsmitteln wie Werkzeu-
gen und Werkstückträgern, sind an diesen eine elektronisch lesbare Kennzeich-
nung aufweisende Module angeordnet. Eine Auswerteeinrichtung ist mit wenig-
25 stens einem Aufnehmer versehen, der die Kennzeichnung liest. Jeder Modul enthält
wenigstens einen Schwingkreis zur Erzeugung einer für ihn kennzeichnenden
Resonanzfrequenz- oder Frequenzkombination. Die am Gegenstand angeordneten
Module sind entsprechend den für die Darstellung der Kennzeichnung des Gegen-
standes im gewählten Code erforderlichen Elemente ausgewählt. Zur Halterung der
30 Module kann beispielsweise jedem Modul eine Sacklochbohrung am Schaft eines
Werkzeugs zugeordnet sein.

35 Auch die US-PS 4,742,470 beschreibt einen an einem zu identifizierenden Werk-
zeug eines automatisierten Werkzeugmaschinen systems angebrachten Transpon-
der, der durch einen Empfänger abfragbar ist. Als Anwendungsgebiet sind durch
Computer numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, sog. CNC-Maschinen, vorge-
sehen, die Zugriff auf in einem Magazin untergebrachte Werkzeuge mit standardi-

1 siertem Werkzeugschaft haben. Die Maschinen können automatisch das erforderliche Werkzeug dem Magazin entnehmen und in die Antriebsspindel einsetzen, so dass eine programmierte Bearbeitung einer großen Zahl unterschiedlicher Teile ohne Eingriff einer Bedienungsperson ermöglicht wird. Der Transponder wird von
5 einem Empfänger abgefragt, der vorzugsweise eine Lese- und Schreibfunktion aufweist. Der signalgespeiste Transponder schickt die in seinem Speicher enthaltene Information an den Empfänger zurück.

Im Prinzip könnten wenigstens einige der oben kurz dargestellten, bekannten
10 Systeme bzw. Verfahrensweisen auch zur automatischen Bestimmung des Durchmessers eines scheibenförmigen Werkzeugs, insbesondere eines Sägeblatts, eingesetzt werden. Dies erfordert jedoch in jedem Fall Zusatzeinrichtungen, z. B. optische Sensoren, mechanische Abtasteinrichtungen oder magnetische bzw. elektromechanische Leseeinrichtungen. Die meisten bekannten Verfahren benötigen auch
15 Zusatzelemente bzw. spezifische Abänderungen an den Werkzeugen selbst.

Der Erfindung liegt damit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur automatischen Bestimmung des Durchmessers eines rundscheibenartigen Werkzeugs, insbesondere eines Sägeblatts für eine automatische Wandsäge anzugeben, das keinerlei Vorkehrungen am Werkzeug selbst voraussetzt und mit in der Regel im Antriebsgerät
20 ohnehin vorhandenen elektronischen Einrichtungen, insbesondere einer vorhandenen Recheneinheit in einer CPU auskommt.

Zur Lösung dieser Aufgabe nutzt die Erfindung zunächst den Gedanken bzw. die
25 Erkenntnis, dass aus der Trägheit des Werkzeugs, insbesondere des Sägeblatts, auf dessen Durchmesser geschlossen werden kann. Dieser Zusammenhang ist als ein Schritt zur Erfindung in der nachfolgenden Tabelle 1 beispielhaft dargestellt.

Tabelle 1

30

Durchmesser[m]	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Trägheit [kgm ²]	5,59	10,36	17,68	28,32	43,16	63,19	89,49

Es wird deutlich, dass die Trägheit sehr sensitiv schon auf kleine Durchmesseränderungen reagiert und dass deshalb der Rückschluß auf den Durchmesser im
35 Prinzip fehlertolerant ist.

Die Erfindung wird nachfolgend in drei Alternativlösungen vorgestellt. Zum einen

1 besteht die Erfindung bei einem Verfahren zur automatischen Bestimmung des Durchmessers eines von einem Motor angetriebenen rundscheibenartigen Werkzeugs, insbesondere eines Sägeblatts für eine automatische Wandsäge in der Anwendung folgender Verfahrensschritte:

5

- Das Werkzeug wird mit einem Motordrehmoment M_{Mot} mit sinusförmigem Verlauf mit der Amplitude \hat{M}_{Mot} und zwei bestimmten Messfrequenzen f_1 bzw. f_2 angetrieben;

10

- die Amplitude der Drehzahl $\hat{\omega}_R$ der Motordrehzahl ω_R des Motors wird gemessen oder es wird die Amplitude \hat{M}_G des Drehmoments im Getriebe gemessen;

15

- die Trägheit Θ_S des Werkzeugs auf der Grundlage eines mathematischen Modells unter Verwendung der Größen \hat{M}_{Mot} , $\hat{\omega}_R$, f_1 , f_2 bzw. \hat{M}_G und der bekannten oder zuvor bestimmten Trägheit Θ_R des Werkzeugantriebs wird berechnet, und sodann

20

- wird der Werkzeugdurchmesser aus einer vorgegebenen Vergleichstabelle, wofür die Tabelle 1 ein Beispiel sein kann, oder aus einer Vergleichskurve eines Diagramms der Relation von Werkzeugträgheit Θ_S zu Werkzeugdurchmesser bestimmt.

25

Vor dem ersten Verfahrensschritt wird es zur deutlichen Erhöhung der Genauigkeit von Vorteil sein, das Werkzeug mit einem konstanten anregenden Motordrehmoment $M_{\text{Mot}0}$ anzutreiben, welches so gewählt ist, dass das Werkzeug mit konstanter Drehzahl ω_{R0} dreht, woraufhin die Werkzeugreibung d_S gemäß der Beziehung

$$d_S = \frac{M_{\text{Mot}0} - d_R \cdot \omega_{R0}}{\omega_{R0}}$$

30

bestimmt wird, wobei d_R die bekannte oder zuvor bestimmte Reibung im Antriebsstrang vom Motor bis zum Werkzeug bei der Drehzahl ω_{R0} bezeichnet.

35

Eine andere vorteilhafte Möglichkeit, die Werkzeugreibung zu berücksichtigen, besteht darin, vor Beginn des ersten Verfahrensschritts zur Bestimmung der Werkzeugträgheit das Drehmoment M_{G0} im Antriebsstrang vom Motor zum Werkzeug zu messen, wobei das Werkzeug mit konstantem Drehmoment $M_{\text{Mot}0}$ angetrieben wird, welches so zu wählen ist, dass das Werkzeug mit konstanter Drehzahl ω_{R0}

1 dreht. Die Bestimmung der Werkzeugreibung erfolgt dann gemäß der Beziehung

$$d_S = d_R \cdot \frac{M_{G0}}{M_{Mot} - M_{G0}},$$

5

wobei d_R wiederum die bekannte oder zuvor bestimmte Reibung im Antriebsstrang vom Motor bis zum Werkzeug bei der Drehzahl ω_{R0} bezeichnet.

Weitere vorteilhafte Einzelheiten, die insbesondere die Genauigkeit der Trägheitsbestimmung für das Werkzeug verbessern, sind in den abhängigen Patentansprüchen definiert und werden nachfolgend im Zusammenhang mit der Beschreibung eines Ausführungsbeispiel näher erläutert.

Bei einer zweiten Lösungsvariante für das Verfahren zur automatischen Bestimmung des Durchmessers eines von einem Motor angetriebenen rundscheibenförmigen Werkzeugs werden erfindungsgemäß folgende Verfahrensschritte angewendet:

- Das Werkzeug wird mit einem definierten und konstanten Drehmoment M_{Mot} beschleunigt. Dabei wird
- der Drehzahlverlauf $\omega(t)$ über der Zeit registriert, z. B. in genügend feinen Schritten in einem elektronischen Speicher, sodann wird
- ein Endwert $\bar{\omega}_{end}$ der dem Drehmoment M_{Mot} entsprechenden Drehzahl bestimmt und der Reibungskoeffizient wird bestimmt aus

25

$$d_{tot} = \frac{M_{Mot}}{\bar{\omega}_{end}}$$

30

Dabei wird die Zeit τ ab Beginn der Motorbeschleunigung bis zum Erreichen des Bruchteils $(1 - e^{-1}) = 63,21\%$ des Drehzahlendwerts $\bar{\omega}_{end}$ bestimmt, und anschließend

- wird die Trägheit des Werkzeugs bestimmt nach der Beziehung

$$\Theta_S = \tau \cdot d_{tot} - \Theta_R$$

1 wobei Θ_R die bekannte oder zuvor bestimmte Trägheit des Antriebs, d. h. des
Rotors des Antriebsmotors und gegebenenfalls des Getriebes bezeichnet.

5 Aus der berechneten Trägheit des Werkzeugs wird sodann der Werkzeugdurch-
messer aus einer vorgegebenen Vergleichstabelle oder -kurve bestimmt, die die
Relation von Werkzeugträgheit Θ_S zu Werkzeugdurchmesser wiedergibt.

Es ist vorteilhaft, die Zeit oder die Zeitspanne t insbesondere bei einem bestimmten
Bruchteil des Drehzahlwerts, nämlich bei dem Bruchteil $(1-e^{-1})$, das heißt bei 63,21
10 % des Drehzahl-Endwerts zu bestimmen, wobei die Berechnungsformel besonders
einfach wird.

Gemäß einer dritten grundsätzlichen Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen
Verfahrens zur automatischen Bestimmung des Durchmessers eines von einem
15 Motor angetriebenen rundscheibenförmigen Werkzeugs, insbesondere eines Säge-
blatts für eine automatische Wandsäge, sind folgende Verfahrensschritte vorge-
sehen:

- 20 • Zunächst wird das Werkzeug mit einem definierten und konstanten
Drehmoment M_{Mot} beschleunigt;
- der Drehzahlverlauf $\omega(t_n)$ über der Zeit wird in feinen Schritten registriert,
insbesondere in einem Speicher bis eine konstante Drehzahl ω_{end} erreicht
ist;
- 25 • ein Reibungskoeffizient wird mit der Beziehung

$$30 \quad \bar{d}_{tot} = \frac{M_{Mot}}{\bar{\omega}_{end}}$$

errechnet, wobei $\bar{\omega}_{end}$ der durchschnittlichen Drehzahl für die letzten, bei-
spielsweise 3 bis 30 Datenpunkte der Registrierung des Drehzahlverlaufs
entspricht mit

$$35 \quad \bar{\omega}_{end} = \frac{1}{(n_{end} - n_0)} \sum_{k=n_0}^{n_{end}} \omega_k \text{ mit } n = n_0, n_1, \dots, n_{end}$$

für $t > t_{n0}$ und $\omega_n = \omega_{end}$.

1 sodann

- Bestimmen der Zeitkonstanten $\bar{\tau}$ der Steigung des Drehzahlverlaufs für die Werte vor den letzten Datenpunkten; und

5 • Berechnen der Trägheit des Werkzeugs mit der Formel

$$\Theta_S = \bar{\tau} \cdot \bar{d}_{\text{tot}} - \Theta_R,$$

10 wobei Θ_R die bekannte oder zuvor bestimmte Trägheit des Antriebs bezeichnet.

- Bestimmen des Werkzeugdurchmessers aus einer vorgegebenen Vergleichstabelle oder -kurve der Relation von Werkzeugträgheit Θ_S zu Werkzeugdurchmesser.

15

Die Zeitschritte des Drehzahlverlaufs werden beispielsweise in einem Abstand von 50 bis 500 ms, d. h. mit 20 bis 200 Werten pro Registrierungsvorgang gewählt.

20 Die Erfindung und vorteilhafte Einzelheiten werden nachfolgend unter Bezug auf die Zeichnungen in beispielsweise Ausführungsformen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Modellierung eines Werkzeugs, insbesondere eines Sägeblattantriebs als Zwei-Massen-Schwinger;

25

Fig. 2 A/B typische Verläufe eines Bode-Diagramms der Verstärkung bzw. Phase in Abhängigkeit von der Frequenz (Drehzahl) für verschiedene Werkzeugdurchmesser;

30

Fig. 3 A/B typische Verläufe eines Bode-Diagramms von Verstärkung bzw. Phase in Abhängigkeit von der Frequenz für unterschiedliche Reibungen,

35

Fig. 4 A/B den Vergleich der Bode-Diagramme von Verstärkung bzw. Phase bei Annahme einer ersten Vereinfachung;

Fig. 5 A/B den Vergleich der Bode-Diagramme von Verstärkung bzw. Phase bei Annahme eines vereinfachten Modells;

- 1 **Fig. 6** ein Diagramm des Beschleunigungsverlaufs bei der Bestimmung der Werkzeugträgheit gemäß der zweiten grundsätzlichen Lösungsvariante der Erfindung; und
- 5 **Fig. 7** die isometrische Darstellung des prinzipiellen Aufbaus eines Sägeblattantriebs für eine Wandsäge.

Als Ausgangspunkt für die Erläuterung der Erfindung wird zunächst als Gerätebeispiel anhand der Fig. 7 ein Sägeblattantrieb einer Wandsäge kurz erläutert.

- 10 Der Sägeblattantrieb umfasst einen Motor (nicht gezeigt) der über seine Motorwelle 24 auf ein Planetengetriebe 23 und ein nachgeschaltetes dreistufiges Stirnradgetriebe 22 wirkt. Zwischen dem Motor und dem Planetengetriebe 23, zwischen dem Planetengetriebe 23 und dem ersten Stirnrad 25, sowie zwischen dem letzten
- 15 Stirnrad 26 und dem Sägeblatt sind jeweils (nicht näher bezeichnete) Wellen als Übertragungsglieder eingebaut. Das nicht dargestellte Sägeblatt wird auf ein nach außen ragendes Ende 21 der letzten Welle des Antriebsstrangs auswechselbar aufgesetzt.
- 20 Ein mögliches Modell eines Sägeblattantriebs zeigt Fig. 1 dargestellt als einen Zwei-Massen-Schwinger. Der anhand von Fig. 7 dargestellte Antriebsstrang wird dabei als in der Mitte, insbesondere an der Stelle mit der größten Elastizität, getrennt gedacht, wobei die Trägheitsmassen in zwei diskreten Punkten als Masse 10 und Masse 12 zusammengefasst werden. Die Elastizitäten von Wellen und Getrieben
- 25 werden ebenfalls in einem Punkt zusammengefasst und ergeben eine Drehfeder 14. Zusätzlich zu berücksichtigen sind gegebenenfalls eine mit Bezugshinweis 15 gekennzeichnete Reibung bzw. ein Reibwert d_R im Antriebsstrang und eine durch Bezugshinweis 16 angegebene Reibung bzw. ein Reibwert d_S am Werkzeug, nämlich insbesondere am Sägeblatt. Diese Reibungen wirken gegebenenfalls auf die beiden
- 30 Trägheitsmassen 10 bzw. 12.

Die dominanten Trägheitsmassen sind dabei diejenigen des Rotors des Motors Θ_R bzw. diejenige des Werkzeugs, insbesondere des Sägeblatts $\Theta_{\text{Sägeblatt}}$ bzw. Θ_S . Die dominante Elastizität wird diejenige der Welle zwischen der letzten Getriebestufe und dem Sägeblatt sein. Dieses Modell lässt sich mit der folgenden Systemgleichung beschreiben:

35

1

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi(t) \\ \omega_R(t) \\ \omega_S(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -c_G / \Theta_R & d_R / \Theta_R & 0 \\ c_G / \Theta_S & 0 & -d_S / \Theta_S \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varphi(t) \\ \omega_R(t) \\ \omega_S(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 / \Theta_R \\ 0 \end{bmatrix} \cdot M_{Mot}(t) \quad (1)$$

5

$$\begin{bmatrix} M_G(t) \\ \omega_R(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_G & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varphi(t) \\ \omega_R(t) \\ \omega_S(t) \end{bmatrix}$$

10 Die in der Systemgleichung (1) angegebenen Größen haben folgende Bedeutung

$\varphi(t)$ Drehwinkel in Abhängigkeit von der Zeit

15 $\omega_R(t)$ Drehgeschwindigkeit bzw. Drehzahl des Rotors in Abhängigkeit von der Zeit

$\omega_S(t)$ Drehgeschwindigkeit bzw. Drehzahl des Werkzeugs (Sägeblatts)

20 c_G Steifigkeit des Getriebes

Θ_R Trägheit des Rotors

Θ_S Trägheit des Werkzeugs (Sägeblatts)

25 d_R Reibung des Rotors, gegebenenfalls plus der Reibung des Getriebeteils, welcher der Rotorseite zuzuordnen ist

d_S Reibung des Werkzeugs (Sägeblatts) gegebenenfalls plus der Reibung des der Werkzeugseite zugeordneten Getriebes

30

$M_{Mot}(t)$ Motordrehmoment in Abhängigkeit von der Zeit

$M_G(t)$ Getriebemoment in Abhängigkeit von der Zeit.

35 Dargestellt als Übertragungsfunktion ergibt sich für das Getriebemoment

$$M_G(s) \frac{s\Theta_s c_G + d_s c_G}{s^3\Theta_R\Theta_s + s^2(\Theta_R d_s + \Theta_s d_R) + s(d_R d_s + c_G(\Theta_s + \Theta_R)) + c_G(d_s + d_R)} M_{Mot}(s) \quad (2)$$

Für die Drehzahl des Rotors gilt

$$\omega_R(s) = \frac{s^2\Theta_s + s d_s + c_G}{s^3\Theta_R\Theta_s + s^2(\Theta_R d_s + \Theta_s d_R) + s(d_R d_s + c_G(\Theta_s + \Theta_R)) + c_G(d_s + d_R)} M_{Mot}(s) \quad (3)$$

In der Übertragungsfunktion gemäß Gleichung (2) bzw. (3) gilt für $s = j2\pi f$, wobei f die Frequenz bezeichnet mit der das Drehmoment M_{Mot} verändert wird..

Die Trägheit Θ_s des Werkzeugs (des Sägeblatts) ist abhängig vom Werkzeugdurchmesser und damit unbekannt. Ebenso unbekannt ist die Reibung d_s , welche auf das Werkzeug wirkt, da dieses frei und damit keiner Reibung unterworfen oder bereits stark belastet, beispielsweise in einem Sägeschlitz eingeklemmt sein kann.

Die Fig. 2 und 3 zeigen typische Verläufe für eine Bode-Diagramm der Übertragungsfunktion $M_{Mot} \rightarrow \omega_R$ für verschiedene Werkzeuge, insbesondere für unterschiedliche Sägeblattdurchmesser und Reibungen.

Durch zwei Messungen von ω_R bzw. M_G bei insbesondere zwei verschiedenen Frequenzen f_1 und f_2 und bei gegebenem Motordrehmoment M_{Mot} ist es möglich, die beiden unbekannten Größen Θ_R und d_s zu bestimmen. Die Berechnung erfolgt, indem in den Gleichungen (2) bzw. (3) s durch $j2\pi f_1$ bzw. $j2\pi f_2$ ersetzt wird und die beiden so entstandenen Gleichungen nach Θ_s und d_s aufgelöst werden.

Für eine möglichst große Toleranz gegenüber Messfehlern ist es vorteilhaft eine Frequenz möglichst nahe bei "0" zu wählen und die andere wenig vor oder wenig nahe der Resonanzfrequenz des Gesamtsystems.

Wird die erste Frequenz $f_1 = 0$ [Hz], d. h. $s = 0$ gewählt, so wird die Situation besonders übersichtlich. Die Trägheit des Werkzeugs Θ_s ist dann in den Gleichungen (2) und (3) nicht mehr enthalten, womit diese direkt nach der unbekannten Reibung des Werkzeugs d_s aufgelöst werden können, d. h.

$$(2) \rightarrow d_S = d_R \cdot \frac{M_{G0}}{M_{Mot0} - M_{G0}}, \text{ oder}$$

$$(3) \rightarrow d_S = \frac{M_{Mot0} - d_R \cdot \omega_{R0}}{\omega_{R0}}, \text{ oder - da } \omega_{R0} \text{ und } \omega_{S0} \text{ identisch sind}$$

$$d_S = \frac{M_{Mot0} - d_R \cdot \omega_{S0}}{\omega_{S0}}$$

Um die Genauigkeit zu erhöhen, kann die Anregung auch mit verschiedenen Werten (Amplituden) für das Motordrehmoment erfolgen, wobei die Ergebnisse für d_S dann gemittelt werden.

Eine weitere Vereinfachung ergibt sich, wenn man das Getriebe als steif annimmt. Die Übertragungsfunktion $M_{Mot} \rightarrow \omega_R$, d. h. die Gleichung (3), wird dann vereinfacht zu

$$\omega_R = \frac{1}{s(\Theta_R + \Theta_S) + d_R + d_S} M_{Mot} \quad (4)$$

oder für den Betrag

$$|\omega_R| = \left| \frac{1}{s(\Theta_R + \Theta_S) + d_R + d_S} \right| \cdot |M_{Mot}| \quad (5)$$

Ein Vergleich der Bode-Diagramme des ursprünglichen Modells mit dem vereinfachten Modell veranschaulicht Fig. 4. Die Übereinstimmung ist in einem weiten Bereich sehr gut, d. h. wenn die Anregung mit einer Frequenz erfolgt, die deutlich unter der Resonanzfrequenz (z. B. um den Faktor 10) liegt, kann auch mit dem vereinfachten Modell gemäß den Gleichungen (4) bzw. (5) gearbeitet werden. Wird in Gleichung (5) s durch $j2\pi f$ ersetzt und nach Θ_S aufgelöst, ergibt sich

$$\Theta_S = \frac{-2\pi f \Theta_R |\omega_R| \pm \sqrt{-d_R^2 |\omega_R|^2 - 2d_R d_S |\omega_R|^2 - d_S^2 |\omega_R|^2 + M_{Mot}^2}}{2\pi f |\omega_R|} \quad (6)$$

- 1 Aus Fig. 3 ist gut ersichtlich, dass die Übertragungsfunktion in einem Bereich deutlich oberhalb der Grenzfrequenz

5
$$f_e = \frac{1}{2\pi} \frac{d_R + d_S}{\Theta_R + \Theta_S}$$

unabhängig von den Reibungen ist. Die Messfrequenz wird dann so gewählt, dass sie größer ist als die größte vorkommende Grenzfrequenz. In diesem Gebiet kann die Übertragungsfunktion stark vereinfacht mit

10
$$|\omega_R| = \left| \frac{1}{s(\Theta_R + \Theta_S)} \right| \cdot |M_{Mot}| = \frac{1}{2\pi f(\Theta_R + \Theta_S)} \cdot |M_{Mot}| \quad (7)$$

- 15 beschrieben werden. Fig. 5 veranschaulicht dies. Die Bestimmung der Werkzeugträgheit kann dann mit

$$\Theta_S = \frac{|M_{Mot}|}{|\omega_R|} \frac{1}{2\pi f} - \Theta_R \quad (8)$$

- 20 auf besonders einfache Weise erfolgen.

Zusammenfassend lässt sich diese erste Variante der Erfindung durch folgende Verfahrensschritte charakterisieren:

- 25 • Antreiben des Werkzeugs mit einem konstanten Motordrehmoment M_{Mot0} , welches so gewählt wird, dass das Werkzeug bzw. der Motor mit einer konstanten Drehzahl dreht. Messen dieser Drehzahl und Bestimmen der Reibung gemäß

30
$$d_S = \frac{M_{Mot0} - d_R \cdot \omega_{R0}}{\omega_{R0}}$$

- 35 • Antreiben des Werkzeugs (der Säge) mit einem sinusförmigen Drehmomentverlauf mit der Amplitude \hat{M}_{Mot} und der Frequenz f_{Mess} . Messen der Amplitude der Drehzahl $\hat{\omega}_R$ und Bestimmen der Trägheit des Werkzeugs Θ_S gemäß

1

$$\Theta_S = \frac{-2\pi f_{Mess} \Theta_R \hat{\omega}_R \pm \sqrt{-d_R^2 \hat{\omega}_R^2 - 2d_R d_S \hat{\omega}_R^2 - d_S^2 \hat{\omega}_R^2 + \hat{M}_{Mot}^2}}{2\pi f_{Mess}}$$

5

- Liegen die Grenzfrequenz f_e (vgl. Fig. 5) und die Resonanzfrequenz f_{res} genügend weit auseinander, kann die Messung in diesem Bereich erfolgen, d. h. für $f_e \ll f_{Mess} \ll f_{res}$, und die Bestimmung der Werkzeugträgheit wird sehr einfach durch

10

$$\Theta_S = \frac{\hat{M}_{Mot}}{\hat{\omega}_R} \frac{1}{2\pi f_{Mess}} - \Theta_R.$$

In diesem Fall ist es nicht notwendig, vorher die Werkzeugreibung d_S zu bestimmen.

15

- Anstelle von ω_R kann auch das Drehmoment M_G im Getriebe gemessen werden. Es gelten dann andere Gleichungen, insbesondere

20

$$d_S = d_R \cdot \frac{M_{G0}}{M_{Mot0} - M_{G0}}.$$

Anstelle von Messungen bei $f = f_0$ und $f = f_1$ kann auch bei zwei beliebigen anderen Frequenzen gemessen werden, welche deutlich unterhalb der Resonanzfrequenz liegen sollten.

25

Unter Verwendung des allgemeineren Modells, oben dargestellt anhand der Gleichungen (1) bis (3), kann auch bei zwei beliebigen Frequenzen gemessen werden, welche jedoch vorteilhafterweise in der Nähe der Resonanzfrequenz liegen sollten.

30

Um die Genauigkeit zu erhöhen, kann jede Messung und Berechnung mit mehreren Werten für das anregende Drehmoment durchgeführt werden und die resultierenden Werte für die Reibung und Werkzeugträgheit können gemittelt werden. Dies gilt grundsätzlich auch für die beiden anderen nachfolgend dargestellten Alternativvarianten der Erfindung.

35

Über die Kenntnis der Trägheit des Werkzeugs (Sägeblatts) kann als letzter Schritt auf einfache Weise, insbesondere durch Nutzung einer elektronischen Tabelle auf

1 den Durchmesser des Werkzeugs geschlossen werden, um dann mit diesem Durchmesserwert eine optimierte Einstellung des Werkzeugantriebs in Anpassung auf den Werkzeugdurchmesser zu bewirken.

5 Als Basis für die zweite grundsätzliche Variante der erfindungsgemäßen Lösung wird der Werkzeugantrieb bzw. insbesondere der Wandsägeantrieb durch eine Differentialgleichung erster Ordnung beschrieben:

$$10 \quad \frac{d}{dt} \omega_R(t) = d_{tot} / (\Theta_R + \Theta_S) \cdot \omega_R(t) + 1 / (\Theta_R + \Theta_S) \cdot M_{Mot}(t) \quad (9)$$

mit der Motordrehzahl ω_R der auf das Werkzeug und den Antrieb wirkenden Reibung d_{tot} , der Trägheit des Antriebs (Motor und Getriebe) Θ_R und der Trägheit des Sägeblatts Θ_S sowie dem Motordrehmoment M_{Mot} . Sämtliche Größen sind
15 hierbei mit den Übersetzungsverhältnissen auf eine Seite des Getriebes, z. B. auf die Motorseite, umgerechnet. Dieses Modell gilt unter der zulässigen Annahme, dass die Übertragungsglieder steif sind.

20 Wird der Motor mit einem konstanten Drehmoment betrieben, ergibt sich die Lösung der Differentialgleichung (9) zu:

$$25 \quad \omega_R = \frac{M_{Mot}}{d_{tot}} \left(1 - e^{-t/\tau} \right) \quad (10)$$

$$\tau = \frac{\Theta_R + \Theta_S}{d_{tot}}$$

Fig. 6 zeigt den zeitlichen Verlauf dieses Beschleunigungsvorgangs. Die Drehzahl $\omega(t)$ geht dabei asymptotisch gegen einen Endwert von M_{Mot}/d_{tot} .

30 Nach der Zeit τ wird ein Wert von 63,21 % erreicht (vgl. Fig. 6).

Zusammenfassend werden bei dieser zweiten grundsätzlichen Ausführungsvariante der Erfindung zur Bestimmung des Sägeblattdurchmessers folgende Verfahrensschritte durchgeführt:

- 35
- Beschleunigen des Sägeblatts mit einem definierten und konstanten Drehmoment M_{Mot} ;

- 1 • Registrieren, z. B. Aufzeichnen des Verlaufs der Drehzahl (ω_R) und der zu-
- gehörigen Zeit in feinen Zeitschritten in einem Speicher;
- 5 • Berechnen des Koeffizienten der auf das Werkzeug und den Antrieb wirkenden Reibung (d_{tot}) nach der Gleichung

$$d_{tot} = \frac{M_{Mot}}{\text{gemessener Endwert der Drehzahl;}}$$

10

- Bestimmen der Zeit τ , bei der 63,21% des Endwerts der Drehzahl erreicht wird;
- Berechnen der Trägheit des Werkzeugs nach der Gleichung

15

$$\Theta_S = \tau \cdot d_{tot} - \Theta_R;$$

- Bestimmen des der berechneten Werkzeugträgheit zuzuordnenden Werkzeugdurchmessers.

20

Bei der dritten grundsätzlichen Ausführungsvariante der Erfindung wird ein Modell einer linearen Regression zugrundegelegt. Dieses Verfahren umfasst im Wesentlichen folgende Schritte:

- 25 • Beschleunigen des Werkzeugs mit einem definierten und konstanten Drehmoment M_{Mot} ;
- Aufzeichnen des Drehzahlverlaufs $\omega_n = \omega(t_n)$ und der zugehörigen Zeit, vorzugsweise in genügend feinen Zeitschritten t_n in einem Speicher;
- 30 • Abwarten bis die Drehzahl ω konstant ist und Beenden der Datenaufzeichnung;
- Benutzen der letzten Datenpunkte, z. B. der letzten 3 bis letzten 30 Daten-
- 35 punkte zur Berechnung des Reibungskoeffizienten d_{tot} gemäß:

$$\bar{\omega}_{end} = \frac{1}{(n_0)} \sum_{k=n_0}^{n_{end}} \omega_k \quad \text{für } n = n_0 \dots n_{end} \quad (\text{für } t > t_0, \omega_n = \omega_{end}) \quad (11)$$

$$\bar{d}_{tot} = \frac{M_{Mot}}{\bar{\omega}_{end}} \quad (12)$$

Die gemessenen Datenpaare für einen Zeitwert t_n bzw. Drehzahlwert ω_n genügen nun folgenden Gleichungen:

$$y_n = 1_n \left(1 - \frac{\omega_n}{\omega_{end}} \right) = \frac{-t_n}{\tau} = m \cdot x_n \quad (13)$$

Diese Gleichung stellt eine Gerade durch den Ursprung eines kartesischen Koordinatenkreuzes mit der Abszisse x und der Ordinate y mit der Steigung

$$m = \frac{-1}{\tau} \text{ dar.}$$

- Über eine lineare Regression lassen sich die Steigung dieser Geraden und damit die Zeitkonstante τ und das Trägheitsmoment und damit der Radius des Werkzeugs bestimmen:

$$m = \frac{-1}{\tau} = \frac{\sum x_n \cdot y_n}{\sum (x_n)^2} \quad (14)$$

$$\Theta_R + \Theta_S = \bar{\tau} \cdot \bar{d}_{tot} \quad (15)$$

Durch die anhand von drei Ausführungsvarianten dargestellten Erfindung lässt sich auf einfache Weise ohne zusätzlichen Hardwareaufwand eine automatische Bestimmung der Trägheit eines scheibenförmigen Werkzeugs, insbesondere eines Sägeblatts für eine automatische Wandsäge und daraus folgend eine Bestimmung des Durchmessers erreichen, so dass eine Optimierung des Werkzeugantriebs auf ein jeweils gewähltes Werkzeug in einem automatischen Einstellvorgang gewährleistet werden kann. Insbesondere bei Anwendung der Erfindung bei Wandsägen lässt sich damit die Schnittlänge und Schnitttiefe auf einfache Weise bestimmen.

Patentansprüche

1

1. Verfahren zur automatischen Bestimmung des Durchmessers eines von einem Motor angetriebenen rundscheibenartigen Werkzeugs, insbesondere eines Sägeblatts für eine automatische Wandsäge mit folgenden Schritten:

5

- (a) Antreiben des Werkzeugs mit einem Motordrehmoment M_{Mot} mit sinusförmigem Verlauf mit der Amplitude \hat{M}_{Mot} und Messen bei zwei bestimmten Messfrequenzen $f_{Mess} = f_1$ bzw. $f_{Mess} = f_2$;
- (b) Messen der Amplituden $\hat{\omega}_R$ der Rotordrehzahl ω_R des Motors oder der Getriebemomentamplitude \hat{M}_G ;
- (c) Berechnen der Trägheit Θ_S des Werkzeugs auf der Grundlage eines mathematischen Modells unter Verwendung der Größen \hat{M}_{Mot} , $\hat{\omega}_R$, f_1 , f_2 bzw. \hat{M}_G und der bekannten oder zuvor bestimmten Trägheit Θ_S des Werkzeugantriebs; und
- (d) Bestimmen des Werkzeugdurchmessers aus einer vorgegebenen Vergleichstabelle oder -kurve eines Diagramms der Relation von Werkzeugträgheit Θ_S zu Werkzeugdurchmesser.

10

15

20

2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** folgende Verfahrensschritte:

- (e) vor dem Verfahrensschritt (a) wird das Werkzeug mit einem konstanten anregenden Motordrehmoment M_{Mot0} angetrieben, welches so gewählt ist, dass das Werkzeug mit konstanter Drehzahl ω_{R0} dreht, sodann
- (d) Bestimmen der Werkzeugreibung d_S gemäß der Beziehung

25

$$d_S = \frac{M_{Mot0} - d_R \cdot \omega_{R0}}{\omega_{R0}}$$

30

wobei d_R die bekannte oder zuvor bestimmte Reibung im Antriebsstrang vom Motor bis zum Werkzeug bei der Motordrehzahl ω_{R0} bezeichnet.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** folgende Verfahrensschritte:

35

- (f) vor dem Verfahrensschritt (a) wird das Drehmoment M_{G0} im Antriebsstrang vom Motor zum Werkzeug gemessen, wobei das Werkzeug mit konstantem Motordrehmoment M_{Mot} angetrieben wird, welches so gewählt wird, dass das Werkzeug mit konstanter Drehzahl ω_{R0} dreht, sodann
- (g) Bestimmen der Werkzeugreibung gemäß der Beziehung

1

$$d_S = d_R \cdot \frac{M_{G0}}{M_{Mot} - M_{G0}}, \text{ wobei}$$

5

d_R die bekannte oder zuvor bestimmte Reibung im Antriebsstrang vom Motor bis zum Werkzeug bei der Drehzahl ω_{R0} bezeichnet.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Verfahrensschritt (c) die Berechnung der Werkzeugträgheit Θ_S gemäß der Formel

10

$$\Theta_S = \frac{-2\pi f_{Mess} \Theta_R \hat{\omega}_R \pm \sqrt{-d_R^2 \hat{\omega}_R^2 - 2d_R d_S \hat{\omega}_R^2 - d_S^2 \hat{\omega}_R^2 + \hat{M}_{Mot}^2}}{2\pi f_{Mess}}$$

erfolgt.

15

5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messfrequenzen f_{Mess} in einem Frequenzbereich gewählt werden, der deutlich oberhalb einer durch die Reibung und die Trägheit des Gesamtsystems bestimmten Grenzfrequenz f_e und deutlich unterhalb der Resonanzfrequenz f_{res} des Gesamtsystems liegt, d. h. $f_e \ll f_{Mess} \ll f_{res}$, und dass die Berechnung der Werkzeugträgheit Θ_S im Schritt (c) durch die Beziehung

20

$$\Theta_S = \frac{\hat{M}_{Mot}}{\hat{\omega}_R} \frac{1}{2\pi f_{Mess}} - \Theta_R.$$

25

bestimmt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Grenzfrequenz durch die Beziehung

30

$$f_e = \frac{1}{2\pi} \frac{d_R + d_S}{\Theta_R + \Theta_S}$$

35

bestimmt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bestimmung der Werkzeugreibung d_S zur Erhöhung der Genauigkeit bei verschiedenen

1 Werten des anregenden Motordrehmoments M_{Mot0} und mehrfach durchgeführt wird, und dass die erhaltenen Werte ermittelt werden.

5 8. Verfahren zur automatischen Bestimmung des Durchmessers eines von einem Motor angetriebenen rundscheibenförmigen Werkzeugs, insbesondere eines Sägeblatts für eine automatische Wandsäge mit folgenden Schritten:

- (a) Beschleunigen des Werkzeugs mit einem definierten und konstanten Drehmoment M_{Mot} ;
- 10 (b) Registrieren des Drehzahlverlaufs $\omega(t)$ über der Zeit;
- (c) Bestimmen eines Endwerts $\bar{\omega}_{end}$ der dem Drehmoment M_{Mot} entsprechenden Drehzahl und Berechnen des Reibungskoeffizienten

15
$$d_{tot} = \frac{M_{Mot}}{\bar{\omega}_{end}}$$

- (d) Bestimmen der Zeit τ ab Beginn der Motorbeschleunigung bis zum Erreichen von $(1-e^{-1})$ Bruchteils des Drehzahlendwerts $\bar{\omega}_{end}$;
- (e) Berechnen der Trägheit des Werkzeugs mit

20
$$\Theta_S = \tau \cdot d_{tot} - \Theta_R$$

wobei Θ_R die bekannte oder zuvor bestimmte Trägheit des Rotors des Antriebsmotors gegebenenfalls einschließlich des Getriebes bezeichnet;

- 25 (f) Bestimmen des Werkzeugdurchmessers aus einer vorgegebenen Vergleichstabelle oder -kurve der Relation von Werkzeugträgheit Θ_S zu Werkzeugdurchmesser.

30 9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Drehzahlverlauf über der Zeit in Schritten $\omega_n = w(t_n)$; $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ in einem Speicher aufgezeichnet wird.

35 10. Verfahren zur automatischen Bestimmung des Durchmessers eines von einem Motor angetriebenen rundscheibenförmigen Werkzeugs, insbesondere eines Sägeblatts für eine automatische Wandsäge mit folgenden Schritten:

- (a) Beschleunigen des Werkzeugs mit einem definierten und konstanten Drehmoment M_{Mot} ;

- 1 (b) Registrieren des Drehzahlverlaufs $\omega(t_n)$ über der Zeit in feinen Zeitschritte bis eine konstante Drehzahl ω_{end} erreicht ist;
- (c) Berechnen eines Reibungskoeffizienten mit

5
$$\bar{d}_{\text{tot}} = \frac{M_{\text{Mot}}}{\bar{\omega}_{\text{end}}}$$

wobei $\bar{\omega}_{\text{end}}$ der durchschnittlichen Drehzahl für die letzten Datenpunkte der Registrierung des Drehzahlverlaufs entspricht mit

10
$$\bar{\omega}_{\text{end}} = \frac{1}{(n_{\text{end}} - n_0)} \sum_{k=n_0}^{n_{\text{end}}} \omega_k \text{ mit } n = n_0, n_1, \dots, n_{\text{end}}$$

für $t > t_{n0}$ und $\omega_n = \omega_{\text{end}}$;

- 15 (d) Bestimmen der Zeitkonstante $\bar{\tau}$ der Steigung des Drehzahlverlaufs für Datenpunkte, die vor den für die Bestimmung des Reibungskoeffizienten \bar{d}_{tot} verwendeten letzten Datenpunkten liegen;
- (e) Berechnen der Trägheit des Werkzeugs mit der Formel

20
$$\Theta_S = \bar{\tau} \cdot \bar{d}_{\text{tot}} - \Theta_R,$$

wobei Θ_R die bekannte oder zuvor bestimmte Trägheit des Rotors des Antriebsmotors gegebenenfalls einschließlich des Getriebes liegen;

- (f) Bestimmen des Werkzeugdurchmessers aus einer vorgegebenen Vergleichstabelle oder -kurve der Relation von Werkzeugträgheit Θ_S zu Werkzeugdurchmesser.
- 25

11. Einrichtung für eine Wandsäge zur Bestimmung des Sägeblattdurchmessers auf der Grundlage eines Bestimmungsverfahrens nach wenigstens einem der vorstehenden Ansprüche.

30

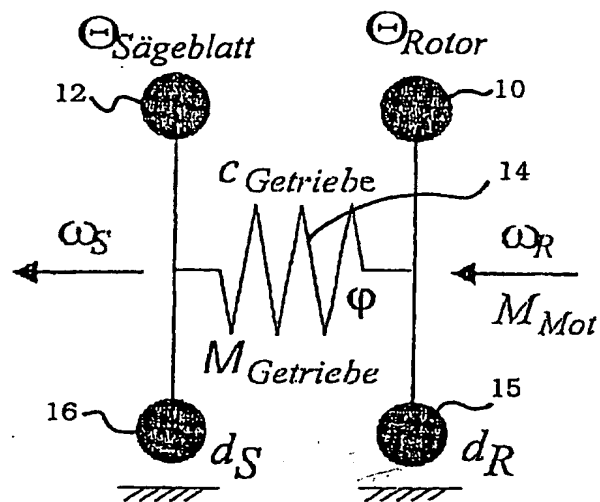
Zusammenfassung

Verfahren und Einrichtung zur automatischen Bestimmung eines Durchmessers eines von einem Motor angetriebenen rundscheibenartigen Werkzeugs

Zur automatischen Erkennung des Durchmessers eines von einem Motor über ein Getriebe angetriebenen Werkzeugs, insbesondere eines Sägeblatts für eine automatische Wandsäge, wird das Trägheitsmoment des Werkzeugs als Indikator für dessen Durchmesser eingesetzt. Es werden drei grundsätzliche Lösungsvarianten vorgestellt. Insbesondere wird das System Motor-Getriebe-Werkzeug als Zwei-Massen-Schwinger behandelt, derart, dass die Elastizitäten von Wellen und Getriebe als Drehfeder zwischen den in zwei diskreten Punkten zusammengefassten Trägheitsmassen und unter Berücksichtigung von zwei Reibungskoeffizienten, nämlich der bekannten Trägheit des Motorrotors (Θ_R) und des Werkzeugs (Θ_S) angeordnet sind. Dieses System lässt sich zunächst durch allgemeine Gleichungen beschreiben, die dann durch sinnvolle Annahmen bzw. Voraussetzungen vereinfacht werden. Die jeweils gewählten Ansätze werden nach dem Trägheitsmoment des Werkzeugs aufgelöst, um daraus den Durchmesser zu bestimmen und gegebenenfalls eine optimierte auf das betreffende Werkzeug angepasste Einstellung für den Antrieb zu ermöglichen.

(Fig. 1)

THIS PAGE BLANK (USPTO)


FIG. 1

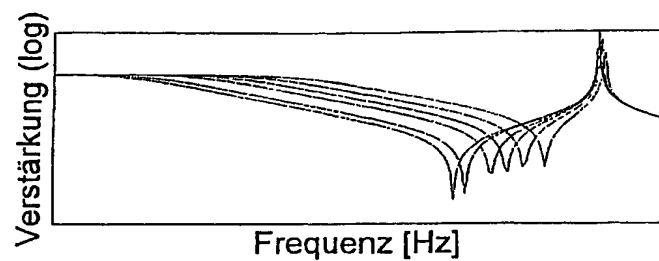


FIG. 2A

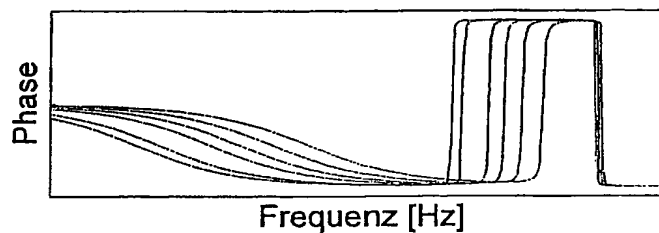


FIG. 2B

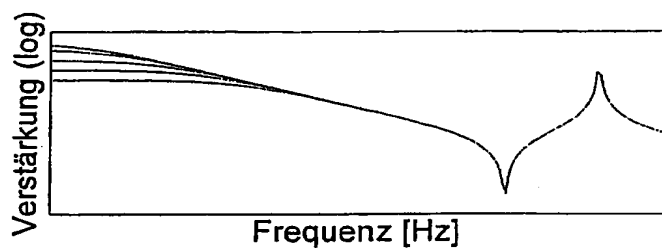


FIG. 3A

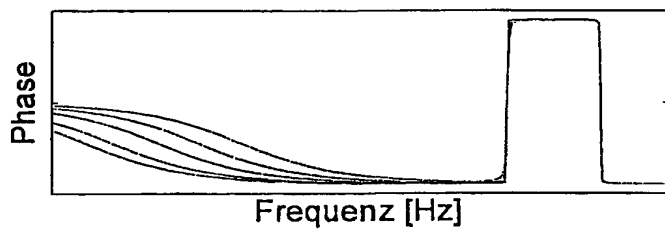


FIG. 3B

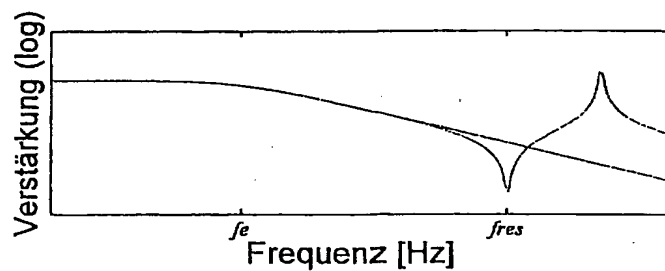


FIG. 4A

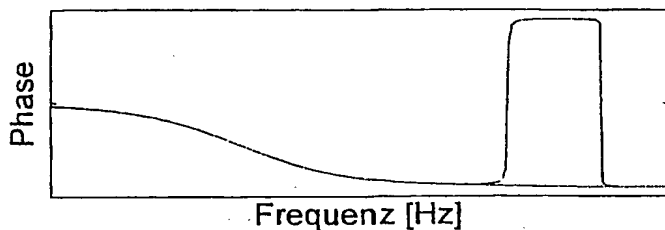


FIG. 4B

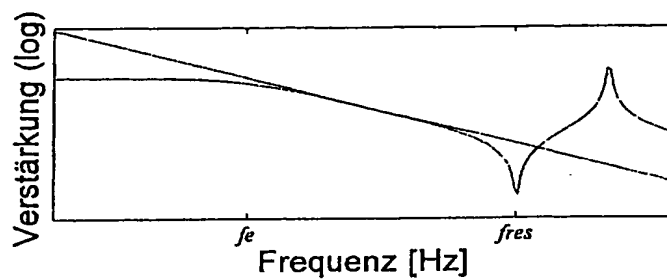


FIG. 5A

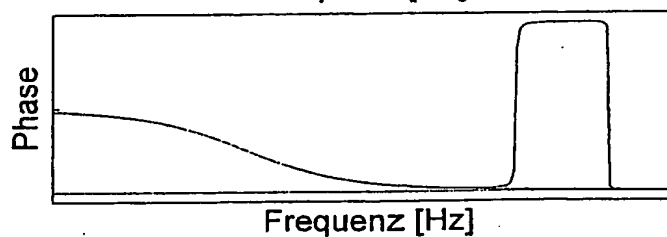


FIG. 5B

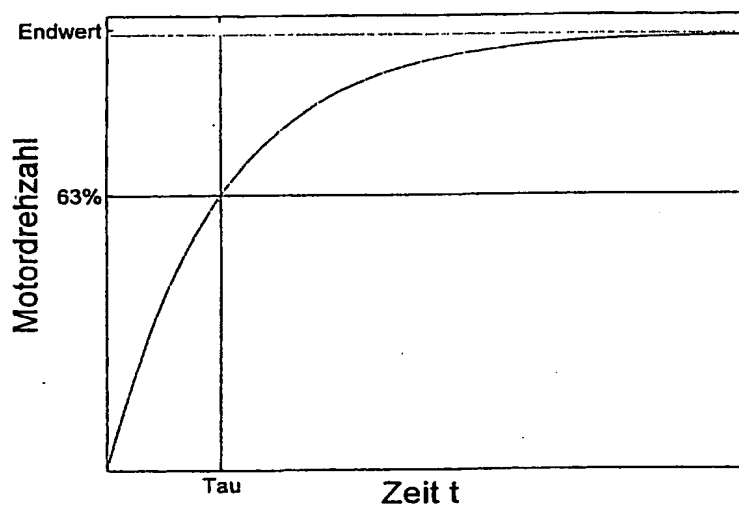
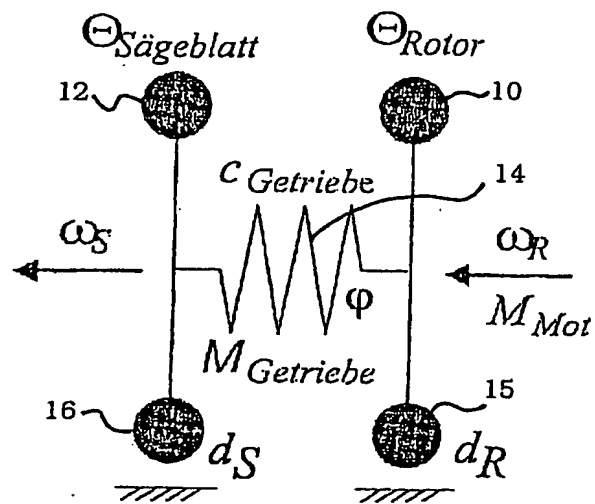


FIG. 6



THIS PAGE BLANK (USPTO)